

국산 양식 홍합 함유 식빵의 제조 및 생리활성 평가

조민지 · 김윤아 · 이승철
경남대학교 식품영양생명학과

Preparation and Evaluation of Physiological Activity of White Bread Containing Korean Blue Mussel

Min-Ji Jo, Yun-Ah Kim, and Seung-Cheol Lee

Department of Food, Nutrition and Biotechnology, Kyungnam University

ABSTRACT White breads containing Korean blue mussel (*Mytilus edulis*) powder were prepared and characterized. WB (white bread without blue mussel) and four different MBs (white breads containing blue mussel; number in front of MB means added % of blue mussel powder per wheat flour) were prepared by the straight dough method. With addition of blue mussel to bread, lightness decreased, whereas redness and yellowness increased. Addition of blue mussel did not significantly affect specific volumes of breads. DPPH and ABTS radical scavenging activities significantly increased with increasing blue mussel content. Addition of blue mussel to breads also increased alcohol dehydrogenase and acetaldehyde dehydrogenase activities. In the sensory test, 1MB acquired relatively high points for taste, flavor, texture, and preference. The results indicate that blue mussel can be applied to white bread to improve physiological functions without reduction of physicochemical characteristics.

Key words: white bread, blue mussel, antioxidant activity, alcohol metabolizing enzyme

서 론

홍합(sea mussel)은 홍합목, 홍합과로 분류되는 이매패의 일종으로서 전 세계에 널리 분포하며 식품 소재로 널리 각광받고 있다. 붉은 조개라는 뜻의 홍합(紅蛤)은 빙허각 이씨가 엮은 규합총서(1809년)에서 바다의 담백한 채소라는 뜻의 ‘담채(淡菜)’라 명명되어 있으며 이로부터 ‘담치’라는 이름이 유래되었다. 우리나라 연안에는 20여 종의 홍합이 분포하며, 전통적인 자연산 홍합이라 하면 참담치인 *Mytilus coruscus*를 의미하지만, 국내에서 양식되는 홍합은 진주담치인 *Mytilus edulis*를 일컫는다. 따라서 시중에서 흔히 발견되는 홍합은 진주담치로 자연산인 참담치와 혼동하여 일반적으로 홍합이라 불린다.

2015년도 통계청 자료에 의하면 211건의 양식어업권 면허에 의해 891 ha의 해역에서 53,879톤의 홍합이 양식 생산되고 있다(1). 국립수산물품질관리원에서 발표한 수산물 성분표에 의하면 우리나라에서 양식되는 홍합(진주담치)은 100 g 당 단백질 10.3 g, 지질 1.1 g, 탄수화물 5.1 g, 회분 2.3 g이며, 자연산 홍합(참담치)의 단백질 13.8 g, 지질 1.2 g,

탄수화물 4.0 g, 회분 2.3 g과 약간의 차이를 보인다(2). 구체적으로 지방산을 보면 양식 홍합은 포화지방산 28.2%, 단일불포화지방산 26.5%, 다가불포화지방산 45.3%이며, 자연산 홍합은 포화지방산 34.5%, 단일불포화지방산 22.2%, 다가불포화지방산 43.3%로, 양식 홍합도 자연산 홍합에 비해 손색이 없는 영양소를 함유하고 있음을 알 수 있다. 한편 뉴질랜드에서 생산되는 초록입 홍합(*Perna canaliculus*)은 오메가-3 불포화지방산이 풍부하여(3) 관절염(4)과 염증(5)에 효과적이라 보고되었으며, 이를 바탕으로 초록입 홍합의 불포화 지방산을 ‘리프리놀(liprinol)’이라는 소재로 관절염 치료제로 판매하고 있다. 초록입 홍합과 비교하여 우리나라의 양식 홍합도 그에 못지않은 함량의 오메가-3 불포화지방산(DHA 12.6%, EPA 21.1%)이 검출되었다(2). 또한, 국내 양식 홍합에 대해 최근 항산화능, 항고혈압능, 숙취해소능, 항비만 등의 다양한 생리활성이 보고되었다(6-9).

우리나라에서 홍합은 일반적으로 홍합탕을 제외하고는 국이나 찌개의 부재료로 단순 이용되고 있으나, 프랑스, 네덜란드, 벨기에 등의 유럽에서는 홍합과 튀긴 감자를 함께 먹는 물 프리트(moules frites)로 요리의 주재료 활용되고 있으며 홍합을 빵과 함께 또는 빵가루로 튀겨서 먹기도 한다. 국내에서는 홍합의 가공품 개발을 위하여 양념젓갈(10), 통조림(11,12), 레토르트파우치(13) 등이 보고된 바 있다. 이에 본 연구에서는 홍합 분말을 첨가한 식빵을 제조하고 이화학적 특성과 생리활성을 분석함으로써 양식 홍합의 이

Received 6 July 2016; Accepted 9 September 2016

Corresponding author: Seung-Cheol Lee, Department of Food, Nutrition and Biotechnology, Kyungnam University, Changwon, Gyeongnam 51763, Korea

E-mail: sclee@kyungnam.ac.kr, Phone: +82-55-249-2684

용 다변화를 기하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

홍합은 2015년 10월 훈이식품(Changwon, Korea)에서 껍질이 제거된 상태로 구입하였다. 제빵 재료로는 큐원 하얀 설탕(Samyang Co., Seoul, Korea), 큐원 빵용 밀가루(Samyang Co., Seoul, Korea), 생이스트(Jenico Co., Seoul, Korea), 개량제(S500Acti-Plus, PuratosKorea Co., Seoul, Korea), 소금(Youngjin Green Food Co., Hanam, Korea), 쇼트닝(Ottogi Co., Anyang, Korea), 분유(Seokang Dairy & Food Co., Ltd., Sacheon, Korea), 계란(Geojesanhoi, Changwon, Korea)을 각각 구입하여 사용하였다. Alcohol dehydrogenase(ADH), acetaldehyde dehydrogenase(ALDH), ascorbic acid, captopril, dimethyl sulfoxide(DMSO), 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH), NAD^+ 는 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, MO, USA)에서 구입하였으며, Hepos(Cho-a Pharm. Co., Ltd., Seoul, Korea)는 시중 약국에서 구입하였고 추출에 사용된 메탄올은 Duksan Pure Chemical Co.(Ansan, Korea)에서 구입하여 사용하였다. 그 외의 연구에 사용된 용매 및 시약은 모두 일급 이상의 등급을 사용하였다.

홍합 분말 제조

홍합 3,890 g에 증류수 1,000 mL를 가하여 100°C에서 10분간 가열하였다. 삶은 홍합은 동결건조 후 블렌더(HBL-3500S, Samyang Electronic Co., Gunpo, Korea)로 마쇄하고, 25 mesh의 체에 걸러 균질화하였다.

제빵

본 연구에 이용된 식빵은 Table 1의 배합비율에 따라 직접반죽법으로 제조하였다. 홍합 분말은 반죽 시 사용되는

Table 1. The formula of white breads containing blue mussel (Unit: g)

Ingredient (g or mL)	WB	0.25 MB	0.5 MB	0.75 MB	1MB
Wheat flour	600	597.3	594.6	591.9	589.2
Blue mussel powder	0	2.7	5.4	8.1	10.8
Milk powder	2	2	2	2	2
Sugar	36	36	36	36	36
Salt	12	12	12	12	12
Egg	28	28	28	28	28
Yeast	16	16	16	16	16
Improver	6	6	6	6	6
Shortening	24	24	24	24	24
Water	356	356	356	356	356
Total	1,080	1,080	1,080	1,080	1,080

WB: white bread, MB: white bread containing blue mussel. Number in front of MB means added % of blue mussel powder per wheat flour.

밀가루 중량에 대하여 0.25, 0.50, 0.75, 1.00%로 첨가하였으며 홍합 분말을 첨가한 양만큼 밀가루 양을 줄였다. 식빵 제조 시 반죽기(K5SS, KitchenAid Co., Benton Harbor, MI, USA)를 사용하여 쇼트닝을 제외한 전 재료를 넣어 클린업 단계(clean-up stage)까지 믹싱하고 쇼트닝을 첨가하여 20분간 최종단계(final stage)까지 반죽 후, 온도 27°C, 습도 80%로 맞춰놓은 발효기에서 24분간 1차 발효하였다. 그 후 반죽을 500 g으로 분할하여 모양을 잡은 뒤 실온에서 15분간 중간발효를 시켰고, 중간발효가 끝난 반죽은 성형하여 발효기에서 온도 35°C, 습도 80%, 41분간 2차 발효하였다. 2차 발효 후 160°C의 오븐에서 36분간 굽기를 시행하였다. 완성된 빵은 실온에서 41분간 냉각 후 폴리에틸렌 비닐로 포장하고 상온에서 저장하면서 시료로 사용하였다. 이때 홍합을 함유하지 않은 대조 식빵을 WB, 홍합을 함유한 식빵을 MB라 명하고, 홍합 함유 %를 MB 앞에 숫자로 나타내어 구분하였다.

색도 측정

식빵의 색도는 식빵을 절단한 후 속 부분을 광전비색계(Minolta CR-200, Osaka, Japan)를 사용하여 명도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b)를 측정하였다. 이때의 표준색은 표준백판을 기준으로 하였으며 L값은 98.11, a값은 -0.33, b값은 +2.13을 기준으로 실시하였다. 홍합 분말 첨가량에 따른 식빵의 전체적인 색 변화 정도를 구별하기 위해 National Bureau of Standards(NBS)의 정의에 따라 전체적인 색도 차이(overall color difference, ΔE)를 아래의 식에 의해 계산하였다(14).

$$\Delta E = [\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2]^{1/2}$$

식빵의 비용적 측정

식빵을 구운 다음 실온에서 3시간 냉각하고 중량을 측정하였으며, 식빵의 부피는 종자 치환법에 의하여 측정하였다(15). 즉, 30×15×15 cm³ 틀에 조를 채운 후 이를 2 L의 매스실린더에 부어 부피를 측정하고, 상기 틀에 제조한 빵을 넣고 다시 조를 채우고 빵을 꺼낸 후 채워진 조를 매스실린더에 부어 부피를 측정하여 그 차이를 식빵의 부피로 측정하였다. 이때 빵의 부피를 무게로 나눈 값을 비용적(specific volume)으로 나타내었다.

물성 측정

식빵의 물성은 table speed 60 mm/min, graph interval 30 msec, load cell(Max) 2 kG의 조건으로 힘을 가해 압착하였고 직경 3 mm의 Adaptor No.5를 사용하여 Rheometer(Compac-100, Sun Scientific Co., Tokyo, Japan)로 경도와 강도를 측정하였다.

생리활성 분석 시료 제조

각 식빵을 동결 건조하고 분쇄하여 얻어진 20 g에 메탄올

400 mL를 가하여 12시간 동안 진탕배양기(HB-201s, Hanback Co., Seoul, Korea)로 25°C, 100 rpm에서 추출하였다. 추출한 시료는 먼저 여과지(Whatman® No. 1, GE Healthcare UK Ltd., Buckinghamshire, UK)로 1차 여과한 후, 미세 여과지(Advantec® membrane filter 0.2 µm, Advantec MFS, Inc., Dublin, CA, USA)를 통과한 여과액을 회전진공농축기(EYELA N-1000, Tokyo Rikakikai Co., Tokyo, Japan)로 농축하였다. 각 농축물은 50 mg/mL의 농도로 DMSO에 녹인 후 4°C에서 보관하였고, DMSO를 이용하여 원하는 농도로 희석하여 분석에 사용하였다.

DPPH 라디칼 소거능

DPPH 라디칼 소거능은 Jeong 등(16)의 방법에 따라 시료 0.1 mL(10 mg/mL)에 0.9 mL의 DPPH 용액(0.041 mM)을 가하고 상온에서 30분 동안 반응시켜 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 각 시료의 라디칼 소거능은 아래의 식에 의해 계산하여 백분율로 나타내었다.

$$\text{DPPH 라디칼 소거능(\%)} = \left(1 - \frac{\text{시료첨가구의 흡광도}}{\text{무 처리구의 흡광도}}\right) \times 100$$

ABTS 라디칼 소거능

ABTS 라디칼 소거능은 Müller(17)의 방법에 따라 측정하였다. 10 mg/mL 농도의 시료 0.1 mL에 인산 완충용액(0.1 M, pH 5.0) 0.1 mL와 10 mM의 H₂O₂ 20 mL를 가한 후 이 혼합물을 37°C에서 5분간 예비반응을 시켰다. 이 반응물에 1.25 mM의 ABTS와 peroxidase(1 U/mL)를 각각 0.03 mL씩 넣고 다시 37°C에서 10분간 반응시킨 후, multiplatereader(Sunrise RC/TS/TS Color-TC/TW/BC/6 Filter, Tecan Austria GmbH, Grödig, Austria)를 이용하여 405 nm에서 흡광도를 측정하였다. ABTS 라디칼 소거능은 아래의 식을 이용하여 구하였다.

$$\text{ABTS 라디칼 소거능(\%)} = \left(1 - \frac{\text{시료첨가구의 흡광도}}{\text{무 처리구의 흡광도}}\right) \times 100$$

ADH 활성

홍합 첨가 식빵의 ADH 활성에 미치는 영향은 Bergmeyer(18)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 증류수 0.7 mL, 1.0 M Tris-HCl buffer(pH 8.8) 0.38 mL, 20 mM NAD⁺ 0.15 mL, 0.2 M 에탄올 0.15 mL, 시료 50 µL를 혼합하여 25°C 항온수조에서 10분간 방치한 후, ADH(5 unit/mL) 27.5 µL를 가하여 25°C에서 10분간 반응시킨 다음 생성된 NADH는 spectrophotometer(Optizen pop, Mecasys Co., Ltd., Daejeon, Korea)를 이용하여 340 nm에서 흡광도를 측정하여 대조군에 대한 상대적 활성을 비교하였다. 음성 대조구는 시료 대신 DMSO를 첨가하였고, 양성 대조구는 10배 희석한 Hepos를 이용하였다. ADH 활성은 반응 종료

시 흡광도를 대조구의 흡광도에 대한 비율로 나타내었으며, 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$\text{ADH 활성(\%)} = \frac{\text{실험구의 최대 흡광도}}{\text{대조구의 최대 흡광도}} \times 100$$

ALDH 활성

홍합 첨가 식빵의 ALDH 활성에 미치는 영향은 Koivula와 Koivusalo(19)의 방법을 일부 수정하여 측정하였다. 증류수 1.05 mL, 1.0 M Tris-HCl buffer(pH 8.0) 0.15 mL, 20 mM NAD⁺ 50 µL, 0.1 M acetaldehyde 50 µL, 3.0 M KCl 50 µL, 0.33 M 2-mercaptoethanol 50 µL, 시료 50 µL를 잘 혼합하여 25°C에서 10분간 방치한 후, ALDH(1 unit/mL) 50 µL를 첨가하여 25°C에서 10분간 반응하여 NADH의 생성을 340 nm에서 흡광도로 측정하였다. 음성 대조구는 ADH 활성 측정에서와 같이 시료 대신 DMSO를 첨가하고 양성 대조구 역시 같은 방법으로 10배 희석한 Hepos를 이용하였다.

관능평가

관능검사는 30명의 패널을 선정하여 실시하였다. 홍합 분말 첨가 식빵의 색(color), 맛(taste), 향(flavor), 조직감(texture), 선호도(preference)를 1점에서 9점까지 9점 척도법으로 실시하였다.

통계처리

모든 실험은 3회 반복으로 이루어졌으며, 그 평균값은 SPSS software(Ver. 12, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하여 General Linear Model의 방법에 따라 처리하였다. 모든 처리 값의 차이는 신뢰 수준 95%(*P*<0.05)로 비교하여 분석되었다.

결과 및 고찰

식빵의 색도

홍합 함유 식빵의 색도검사 결과를 Table 2에 나타내었다. 명도(L값)는 WB, 0.25MB, 0.5MB에서 유의차가 없었으며 0.75MB와 1MB에서 유의차를 보이며 감소하였다. 홍합이 함유되지 않은 대조 식빵인 WB의 적색도(a값)는 -1.67 ± 0.07, 황색도(b값)는 10.82 ± 0.99였으며, 홍합 첨가 함량이 증가할수록 a값과 b값이 증가하는 경향을 보였다. 전반적 색도의 변화를 나타내는 ΔE값을 NBS의 기준에서 검토한 결과(14), 홍합을 첨가하지 않은 대조구와 비교하여 0.25% 첨가한 0.25MB는 0.57로써 조금 차이(0.5~3.0)가 나는 정도였으며, 0.5MB는 3.20으로 현저한 차이(3.0~ 6.0)가 나는 범위에 속하고, 0.75MB와 1MB에서는 각각 6.22와 6.80의 값을 나타내어 극히 현저한 차이(6.0~12.0)에 해당하였다. 이상의 결과는 홍합에 함유된 여러 카로티노이드류 물질(20)이 식빵에 함유됨으로써 큰 영향을 미친 것으로 보인다.

Table 2. Color values, specific volume, and texture profile of white breads containing blue mussel

	WB	0.25MB	0.5MB	0.75MB	1MB
Color values					
L	77.41±0.13 ^a	77.30±0.68 ^a	79.12±0.26 ^a	73.10±2.48 ^b	74.68±1.47 ^b
a	-1.67±0.07 ^c	-1.45±0.02 ^b	-1.48±0.07 ^b	-1.19±0.05 ^a	-1.18±0.09 ^a
b	10.82±0.99 ^d	12.16±0.24 ^c	14.21±0.79 ^b	16.25±0.57 ^a	17.14±0.96 ^a
ΔE	0	0.57	3.20	6.22	6.80
Specific volume					
Volume (cm ³)	1,325	1,345	1,225	1,365	1,305
Weight (g)	474	468	468	470	470
Specific volume (cm ³ /g)	2.80	2.87	2.62	2.90	2.78
Texture profile (g/cm ²)					
Strength (×10 ²)	4.67±0.14 ^b	4.62±0.16 ^b	4.95±0.00 ^b	4.72±0.16 ^b	5.67±0.61 ^a
Hardness (×10 ³)	2.08±0.16 ^a	1.97±0.07 ^a	1.99±0.08 ^a	1.69±0.19 ^b	2.08±0.18 ^a

WB: white bread, MB: white bread containing blue mussel. Number in front of MB means added % of blue mussel powder per wheat flour. Each value is the mean with standard deviation from triplicate experiments. Values not sharing the same letter are significantly different from one another ($P<0.05$).

식빵의 비용적 및 물성

본 연구에서 제조한 각 식빵의 비용적을 구하기 위하여 500 g의 빵 반죽에 대해 제빵 후의 무게 및 부피를 측정하였다. Table 2에 나타낸 바와 같이 각 식빵의 비용적은 무첨가 대조 식빵(WB)에서 2.80 cm³/g, 홍합 분말 1% 첨가 식빵(1MB)에서 2.78 m³/g으로 대조 식빵과 홍합 첨가 식빵 사이의 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 홍합 분말의 첨가는 빵 반죽에서 효모의 발효 과정과 생육에 큰 영향을 주지 않았으며 이로 인한 반죽의 부피 증가와 오븐 팽창의 차이가 없는 것으로 생각한다.

홍합 첨가 식빵의 물성 측정 결과를 Table 2에 나타내었다. 대조 식빵 WB의 경도는 4.67±0.14×10² g/cm²였고, 홍합 0.25%, 0.5%, 0.75%를 함유한 식빵은 각 4.62±0.16×10², 4.95±0.00×10², 4.72±0.16×10² g/cm²로 대조 식빵과의 유의적인 차이가 없었으나, 홍합을 1% 함유한 식빵에서는 5.67±0.61×10² g/cm²로 더 강한 경도를 나타냈다. 강도 면에서는 홍합 첨가량에 따른 비례적인 변화는 나타나지 않았으며, 홍합을 0.75% 첨가한 경우에 1.69±0.19×10³ g/cm²로 가장 낮은 값을 보였다. 이상과 같이 홍합을 1% 범위까지 첨가하여 식빵을 제조하였을 때 식빵의 경도와 강도에 홍합의 첨가량에 따른 비례적인 변화를 발견하기 어려웠으며 일부 식빵군에서 변화를 발견하였지만, 실험적 오차인지 어떤 요인에 의한 것인지 확인하기는 어려웠다.

식빵의 항산화 활성

홍합 함유 식빵의 항산화능을 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능으로 분석하여 Fig. 1에 나타내었다. 양성 대조구인 ascorbic acid는 20 µg/mL 농도에서 32.28%의 소거능을 나타내었다. 각 식빵은 홍합 첨가 농도가 증가할수록 라디칼 소거능이 증가하였다. 즉 무첨가 대조 식빵의 경우 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능은 각각 20.46±0.63%와 40.15±0.79%였으며, 1% 홍합 첨가 식빵의 경우에는 각각 26.56±0.71

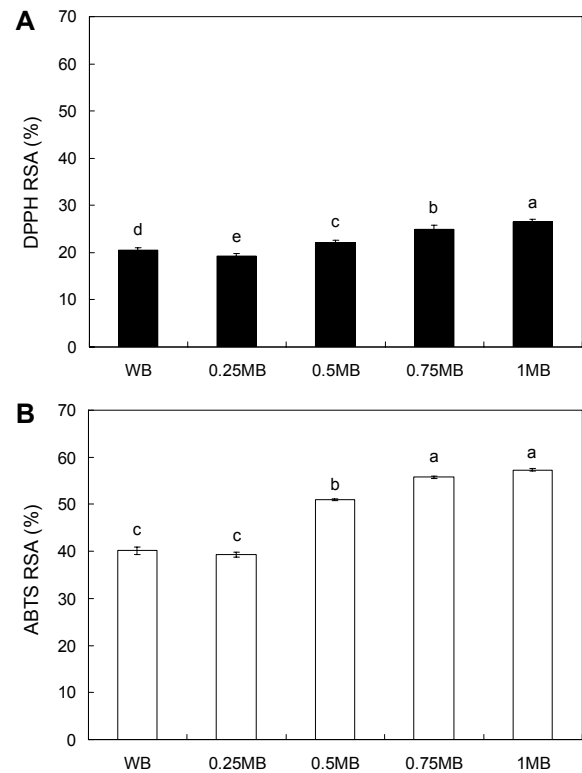


Fig. 1. (A) DPPH and (B) ABTS radical scavenging activity (RSA) of white bread containing blue mussel. WB: white bread, MB: white bread containing blue mussel. Number in front of MB means added % of blue mussel powder per wheat flour. Each value is the mean with standard deviation from triplicate experiments. Values not sharing the same letter are significantly different from one another ($P<0.05$).

%와 57.33±0.30%의 라디칼 소거능을 나타내었다. 본 연구에서 사용한 홍합과 같은 종의 홍합의 DPPH 라디칼을 분석한 논문에서는 홍합 육질의 열수 추출물의 10 mg/mL 농도에서 36.81%의 DPPH 라디칼 소거능을 보인다고 보고하였다(6). 이는 홍합에 존재하는 항산화 물질이 홍합 함유 식빵

의 항산화능에 기여한 것을 알 수 있다.

식빵의 알코올분해 효소 활성에 미치는 영향

알코올은 체내에 흡수된 후 약 80%는 alcohol dehydrogenase(ADH, EC 1.1.1.1)에 의해 acetaldehyde로 산화되고 이어서 acetaldehyde dehydrogenase(ALDH, EC 1.2.1.10)의 작용으로 아세트산으로 산화 분해되며, 나머지 20% 정도는 마이크로솜의 산화계에 의해 처리된다(21). 본 연구에서 제조한 홍합 함유 식빵이 ADH와 ALDH의 활성에 미치는 영향을 분석함으로써 알코올분해 대사에 미치는 영향을 분석하였다. Fig. 2(A)에 ADH의 작용에 대한 홍합 추출물들이 미치는 영향을 나타내었는데, 음성 대조군으로 추출물 대신 증류수를 처리하였으며 양성 대조군으로 Hepos를 처리하였다. Hepos는 20 mL 기준으로 L-arginine 1.462 g, 구연산 0.588 g, 베타인 HCl 1.00 g, 베타인 1.00 g이 함유되어 있으며, 알코올분해 효소 실험에서 양성 대조군으로 널리 이용된다. 그 결과 음성 대조군을 ADH 활성의 100%로 계산하였을 때 5배로 희석한 Hepos를 처리한 경우에는 160.91%의 활성을 나타내었다. 홍합 함유 비율이 증가할수록 홍합 식빵의 추출물은 ADH 활성을 향상시켰다($P <$

0.05). 홍합이 첨가되지 않은 대조 식빵의 경우 $109.76 \pm 4.86\%$ 의 ADH 활성을 보였으며, 홍합이 가장 많이 첨가된 1MB는 $143.43 \pm 2.92\%$ 활성을 나타내었다.

홍합 함유 식빵이 ALDH 활성에 미치는 영향을 Fig. 2(B)에 나타내었다. 증류수만을 첨가한 음성 대조군의 ALDH 활성을 100%로 할 때 양성 대조군인 5배 희석한 Hepos를 첨가한 경우에 116.35%의 ALDH 활성이 측정되었다. 홍합 함유 비율이 증가함에 따라 ALDH 활성을 증가시켰는데($P < 0.05$), 홍합이 첨가되지 않은 대조 식빵의 경우 $103.26 \pm 2.34\%$ 의 ALDH 활성을 보였고 홍합이 가장 많이 첨가된 1MB는 $132.16 \pm 1.14\%$ 활성을 나타내었다.

이상의 결과는 식빵에 함유된 홍합 성분이 ADH, ALDH의 활성 증가에 기여함을 의미한다. ADH의 조효소는 NAD^+ 이며, His, Cys, Thr, Ile, Val, Ala, Leu 등이 활성 부위에 존재하고, 기질인 알코올과 효소 활성 부위 사이에 아연이 배위 결합한다(22). ALDH의 조효소는 NAD^+ 이며, 활성 부위에서는 Cys, Glu이 중요한 역할을 한다고 보고되어 있다(23). 우리나라 국립수산물과학원의 수산물 성분표에는 본 연구에 사용된 홍합(진주담치) 100 g당 niacin(NAD^+ 의 전구체) 3.4 mg, His 175 mg, Cys 111 mg, Thr 402 mg, Ile 321 mg, Val 385 mg, Ala 473 mg, Leu 551 mg, Glu 1,356 mg 함유되어 있다고 보고되어 있다(2). 또한, 미국 농무성의 식품성분표(24)에는 같은 종의 홍합(blue mussel) 100 g 가식부당 아연이 1.6 mg 함유되어 있다고 보고되어 있으며, 일본의 식품성분표에서는 100 g 가식부당 1.0 mg의 아연이 함유되어 있다고 나타나 있다(25). 홍합에 존재하는 이러한 성분들은 ADH와 ALDH의 활성 증가에 기여하였을 가능성이 높다.

한편 Asp와 Asn은 체내에서 Asp-malate shuttle에 의해 NAD^+ 를 생성하여 ADH의 합성을 촉진해 숙취에 도움을 준다고 알려져 있다(26). 홍합에는 100 g 가식부당 Asp가 677 mg 함유되어 있다(2). 또한, 홍합에는 베타인(betaine) 성분이 163 mg/100 g으로 매우 많은 양이 함유되어 있는데(27) 베타인은 콩팥의 삼투압 유지에 기여할 뿐만 아니라 메틸기 공여체로서 간과 콩팥의 Met 대사에 기여함으로써 간과 콩팥의 보호에 기여하는 것으로 알려져 있다(28).

관능검사

홍합 첨가 식빵의 관능검사를 색, 맛, 향, 조직감, 기호도로 나누어 경남대학교 식품 전공자 30명을 대상으로 실시한 결과 Table 3과 같은 결과를 보였다. 색과 향에서는 홍합 무첨가 식빵인 WB를 5점 기준으로 두고 비교하여 각각 색과 향이 진해질수록 높은 점수를 매기게 하였다. 참가자들은 홍합 함유량이 많아질수록 색이 진해진다고 느꼈으며, 향 또한 같은 결과를 나타냈다. 맛에서도 대조 식빵을 기준으로 하여 맛이 좋을수록 높은 점수를 주게 하였고 그 결과 홍합을 0.75% 이상 함유한 식빵에서 높은 점수를 나타냈다. 이는 홍합이 함유한 아미노산 및 다양한 성분에 의한 것으로 추정

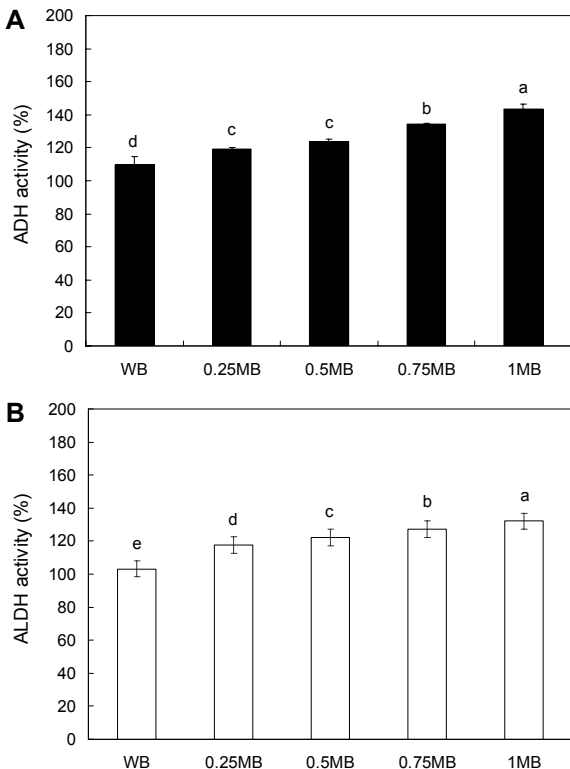


Fig. 2. Effect of white bread on the activity of (A) alcohol dehydrogenase (ADH) and (B) acetaldehyde dehydrogenase (ALDH). WB: white bread, MB: white bread containing blue mussel. Number in front of MB means added % of blue mussel powder per wheat flour. Each value is the mean with standard deviation from triplicate experiments. Values not sharing the same letter are significantly different from one another ($P < 0.05$).

Table 3. Sensory evaluation of white breads containing blue mussel

	WB	0.25MB	0.5MB	0.75MB	1MB
Color	5.00±0 ^d	5.33±0.99 ^d	6.10±1.32 ^c	6.97±0.85 ^b	7.53±1.16 ^a
Taste	5.00±0 ^b	5.37±1.47 ^b	5.60±1.48 ^b	6.37±1.03 ^a	6.83±1.60 ^a
Flavor	5.00±0 ^d	5.47±1.25 ^{cd}	5.87±1.38 ^{bc}	6.37±1.22 ^b	7.27±1.51 ^a
Texture	5.00±0 ^a	5.67±1.54 ^a	5.70±1.51 ^a	5.47±1.35 ^a	5.47±1.77 ^a
Preference	5.00±0 ^b	5.97±1.56 ^a	5.70±1.44 ^a	6.10±1.12 ^a	6.10±1.79 ^a

WB: white bread, MB: white bread containing blue mussel. Number in front of MB means added % of blue mussel powder per wheat flour. Each value is the mean with standard deviation from triplicate experiments. Values not sharing the same letter are significantly different from one another ($P<0.05$).

된다. 조직감에서는 유의적인 결과를 보이지 않았으며, 기호도는 대조 식빵보다 홍합을 함유한 식빵이 더 높게 나타났다. 이러한 결과를 종합하여 볼 때 홍합의 첨가가 식빵의 전체적인 기호도에 긍정적인 결과를 줄 수 있음을 알 수 있다.

요 약

우리나라 남해안에서 많이 양식되고 있는 홍합(진주담치)은 다가가 고도 불포화지방산을 비롯한 다양한 유용 물질을 함유하고 있으며 이로 인한 항산화능, 항비만능, 알코올분해 효소 촉진능 등의 생리활성이 보고되었다. 본 연구에서는 홍합의 이용성 다양화를 위하여 홍합 분말을 첨가한 식빵(0, 0.25, 0.5, 0.75, 1%, 홍합/밀가루, w/w)을 직접반죽법으로 제조하여 그 특성을 분석하였다. 홍합분말이 첨가될수록 식빵의 명도는 감소하였고, 적색도와 황색도는 증가하였다. 홍합분말의 첨가는 식빵의 비용적에 크게 영향을 주지 않았지만, 항산화능(DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능)은 증가시켰다. 또한, 홍합분말의 함량이 증가할수록 알코올 탈수소효소와 아세트알데히드 탈수소효소의 활성도 증가하였다. 관능 검사에서는 홍합분말 1% 첨가 식빵이 맛, 향, 물성과 선택도에서 상대적으로 높은 점수를 얻었다. 이상의 결과는 홍합이 식빵의 경도와 강도에 큰 영향을 주지 않고 생리활성을 향상할 수 있는 소재로 활용될 수 있음을 의미한다.

REFERENCES

- Korean Statistical Information Service. http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=146&tblId=DT_114_2013_S0013&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=114_12321&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=E1 (accessed Jul 2016).
- National Fisheries Research Development Institute. 2013. http://www.nifs.go.kr/portal/page?id=aq_seafood_2_7&type=tot&from=totList&fim_col_id=2009-MF0008018-6-D01 (accessed Jul 2016).
- Taylor AG, Savage C. 2006. Fatty acid composition of New Zealand green-lipped mussels, *Perna canaliculus*: Implications for harvesting for n-3 extracts. *Aquaculture* 261: 430-439.
- McPhee S, Hodges LD, Wright PFA, Wynne PM, Kalafatis N, Harney DW, Macrides TA. 2007. Anti-cyclooxygenase effects of lipid extracts from the New Zealand green-lipped mussel, *Perna canaliculus*. *Comp Biochem Physiol Part B: Biochem Mol Biol* 146: 346-356.
- Treschow AP, Hodges LD, Wright PFA, Wynne PM, Kalafatis N, Macrides TA. 2007. Novel anti-inflammatory ω-3 PUFAs from the New Zealand green-lipped mussel, *Perna canaliculus*. *Comp Biochem Physiol Part B: Biochem Mol Biol* 147: 645-656.
- Kim SK, Ok DL, Park E, Lee SC. 2014. Effects of hot water extracts of domestic blue mussel and New Zealand green lipped mussel on alcohol metabolizing enzymatic, DPPH radical scavenging, and angiotensin converting enzyme inhibitory activities. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43: 1363-1368.
- Ok DL, Kim SK, Lee SC. 2014. Effect of hot water extracts of blue mussel and several plants on alcohol metabolizing enzymatic, antioxidant, and angiotensin converting enzyme inhibitory activities. *Korean J Food Cook Sci* 30: 613-619.
- Lee SW, Choi MJ, Kim SK, Lee SC, Park E. 2014. Antioxidant and DNA damage protective activities of freeze-dried blue mussel (*Mytilus edulis*). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43: 1801-1807.
- Shon MS, Kim SK, Song JH, Lee SC, Kim GN. 2015. Anti-adipogenic activity of blue mussel (*Mytilus edulis*) extract by regulation of 3T3-L1 adipogenesis through Wnt/β-catenin signaling pathway. *Food Sci Biotechnol* 24: 315-321.
- Park JS. 2011. Physicochemical properties of salt-fermented *Mytilus edulis* added with various seasoning sauces. *Korean J Food Preserv* 18: 335-340.
- Park TH, Noe YN, Lee IS, Kwon SJ, Yoon HD, Kong CS, Nam DB, Oh KS, Kim JG. 2012. Processing and characteristics of canned seasoned sea mussel. *J Fish Mar Sci Edu* 24: 820-832.
- Noe YN, Kong CS, Yoon HD, Lee SB, Nam DB, Park TH, Kwon DG, Kim JG. 2011. Preparation and keeping quality of canned sea mussel using tomato paste. *J Fish Mar Sci Edu* 23: 410-424.
- Noe YN, Yoon HD, Kong CS, Nam DB, Park TH, Kim JG. 2011. Preparation of retort pouched seasoned sea mussel and its quality stability during storage. *J Fish Mar Sci Edu* 23: 709-722.
- Adekunte AO, Tiwari BK, Cullen PJ, Scannell AGM, O'Donnell CP. 2010. Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chem* 122: 500-507.
- AACC. 1983. *Approved method of the American Association of Cereal Chemists*. 8th ed. St. Paul, MN, USA. Method 10-10A.
- Jeong SM, Kim SY, Park HR, Lee SC. 2004. Effect of far-infrared radiation on the antioxidant activity of extracts from *Citrus unshiu* peels. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 1580-1583.
- Müller HE. 1985. Detection of hydrogen peroxide produced

- by microorganism on an ABTS peroxidase medium. *Zentralbl Bakteriol Mikrobiol Hyg A* 259: 151-154.
18. Bergmeyer HU. 1974. Alcohol dehydrogenase. In *Methods of Enzymatic Analysis*. Bergmeyer HU, ed. Academic Press, New York, NY, USA. Vol 1, p 428-429.
 19. Koivula T, Koivusalo M. 1975. Different forms of rat liver aldehyde dehydrogenase and their subcellular distribution. *Biochim Biophys Acta* 397: 9-23.
 20. Hertzberg S, Partali V, Liaaen-Jensen S. 1988. Animal carotenoids. 32. Carotenoids of *Mytilus edulis* (edible mussel). *Acta Chem Scand B* 42: 495-503.
 21. Lieber CS. 1991. Hepatic metabolic and toxic effects of ethanol: 1991 update. *Alcohol Clin Exp Res* 15: 573-592.
 22. Brandt EG, Hellgren M, Brinck T, Bergman T, Edholm O. 2009. Molecular dynamics study of zinc binding to cysteines in a peptide mimic of the alcohol dehydrogenase structural zinc site. *Phys Chem Chem Phys* 11: 975-983.
 23. Wang X, Weiner H. 1995. Involvement of glutamate 268 in the active site of human liver mitochondrial (class 2) aldehyde dehydrogenase as probed by site-directed mutagenesis. *Biochemistry* 34: 237-243.
 24. National Nutrient Database for Standard Reference. USDA Agricultural Research Service. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/4642?fgcd=&manu=&lfacet=&format=&count=&max=35&offset=&sort=&qlookup=blue+mussel> (accessed Jul 2016).
 25. Food Composition Database. Japanese Ministry of Education, Culture, Science and Technology. http://fooddb.mext.go.jp/details/details.pl?ITEM_NO=10_10289_7 (accessed Jul 2016).
 26. Park SC. 1994. Effect of bean sprout extracts on metabolism and biological functions of ethanol *in vitro* and *in vivo*. *Korea Soybean Digest* 11: 121-130.
 27. de Zwart FJ, Slow S, Payne RJ, Lever M, George PM, Gerrard JA, Chambers ST. 2003. Glycine betaine and glycine betaine analogues in common foods. *Food Chem* 83: 197-204.
 28. Craig SAS. 2004. Betaine in human nutrition. *Am J Clin Nutr* 80: 539-549.